

# СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ В МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ АУСТЕНИТНЫХ СПЛАВАХ {Fe-Cr-Ni-N}

*Козлов К.А., Шабашов В.А., Ляшков К.А.,  
Литвинов А.В., Сагарадзе В.В., Катаева Н.В.*

Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург  
kozlov@imp.uran.ru

При разработке технологии азотирования сталей большое значение придаётся влиянию на растворимость азота легирующих добавок в матрице сталей. В работах [1-2] показано, что усиление активности образования вторичных нитридов при механоактивации обусловлено термодинамическим фактором – степенью химического сродства азота с легирующими добавками. Влияние примеси на процесс твёрдофазного легирования представляет особый практический интерес также для создания дисперсно-упрочнённых нитридами сталей аустенитного класса.

Задачей настоящей работы было исследование возможности твёрдофазного механического синтеза малолегированного никелем азотистого аустенита с использованием в качестве матрицы железа и сплавов Fe-Ni<sub>x</sub> (x, ат.% = 6...20), а азотсодержащей добавки – нитридов хрома.

Методами мёссбауэровской спектроскопии и ТЭМ-анализа исследованы процессы механического синтеза в шаровой мельнице порошковых смесей железа и Fe-Ni сплавов с нитридами хрома. Установлено, что с ростом содержания никеля в исходной ОЦК матрице в процессе помола с нитридами хрома количество аустенита увеличивается от 5 % для железа до 30 % для сплава FeNi<sub>20</sub>.

Для увеличения количества аустенита после отжига важно не превысить температурный интервал, в котором происходит активное старение МС сплавов с образованием вторичных мононитридов CrN. В полученном нагревом в интервал до 700-730<sup>0</sup>С аустените механосинтезированных сплавов Fe-Ni<sub>x</sub> + CrN концентрация азота и хрома, находящихся в состоянии твёрдого раствора заметно ниже, чем в исходных механосинтезированных смесях. Это означает, что при нагреве происходит активный выход хрома и азота из матрицы и формирование вторичных нитридов хрома в аустените и α-фазе. Очевидно, что температура выдержки при нагреве существенно влияют на фазовый состав (прежде всего, объем аустенита) и содержание N и Cr в состоянии твёрдого раствора механически синтезированных Fe-Ni-Cr-N сплавов. Как это следует из результатов термообработки механосинтезированных сплавов, в смесях с малым содержанием никеля для сохранения аустенита после нагрева необходимо формирование вторичных нитридов. При

термообработке отмечены два фактора, ускоряющих  $\alpha \rightarrow \gamma$  переход и стабилизацию аустенитной структуры. Первый – это температура, превышающая границу  $\alpha/\gamma$  диаграммы Fe-Ni. Второй – температура, при которой существует термодинамический стимул для старения, обеспечивающего выделение дисперсных нитридов, которые стабилизируют субмикроструктуру.

Изотермические отжиги механосинтезированных образцов при 700-730°C в течение 1-5 ч приводят к полиморфным диффузионно-контролируемым фазовым переходам с образованием 100% метастабильного аустенита в Fe-Ni сплавах с 12 и 20 ат.% никеля и сохранением до 1 ат.% азота в положении внедрения. Сформированный азотистый аустенит сохраняется при комнатной температуре и имеет нанокристаллическую структуру твердого раствора Ni. Одновременно наблюдается выделение чрезвычайно дисперсных вторичных нитридов хрома.

Интересно отметить, что увеличение времени помола в 5 раз (с 10 до 50 ч) смесей  $\text{FeNi}_x + \text{CrN}$  практически не влияет на фазовый состав и содержание хрома и азота в образующихся  $\alpha$ - и  $\gamma$ -фазах. По-видимому, уже при помоле в исследуемой системе происходит выравнивание скоростей неравновесного растворения нитридов CrN и равновесного распада образовавшихся метастабильных твердых растворов, т.е. насыщение процесса механического легирования. Уровень равновесия этого динамического деформационно-индуцированного процесса зависит как от условий воздействия, в частности, локальных температур и энергонапряженности мельницы, так и, очевидно, выбранной пропорции компонентов смеси и химической активности элементов, входящих в состав матрицы и легирующей добавки.

Сделан вывод, что механический синтез железа и железоникелевых сплавов с нитридами хрома снижает температурную границу неравновесной фазовой диаграммы  $\alpha / \gamma$  вследствие легирования азотом, а также стабилизирует аустенит в результате уменьшения размера зерна матриц и выделения вторичных наноразмерных нитридов CrN.

Работа выполнена по теме «Структура», поддержана УрО РАН (проект № 12-У-2-1020) и РФФИ (грант № 12-03-00040-а).

1. V.A. Shabashov, K.A. Kozlov, K.A. Lyashkov, A.V. Litvinov, G.A. Dorofeev, S.G. Titova. Solid-Phase Mechanical Alloying of BCC Iron Alloys by Nitrogen in Ball Mills // Defect and Diffusion Forum. 2012. V. 330. P. 25-37.

2. В.А. Шабашов, К.А. Козлов, К.А. Ляшков, А.В. Литвинов, Г.А. Дорофеев, С.Г. Титова, В.В. Федоренко. Влияние алюминия на процесс твердофазного механического легирования железа азотом в шаровой мельнице // ФММ. 2012. т. 113. № 10. С. 1045-1054.